

# 情報構造学の基礎研究

## —デザイン科学に基づくコミュニケーションモデルの分析—

高 田 哲 雄

On the Basis of Science of Information Structure

—An Analysis of Communication Model Based on Science of Design—

by

Tetsuo Takada

### はじめに

1948年、クロード＝シャノンとウォーレン＝ウィバーは『コミュニケーションの数学的理論』(The Mathematical Theory of Communication)を発表し、これによって情報理論の基礎が確立された。<sup>①</sup>

通信工学の法則として出発した情報理論が今日広汎な諸分野に浸透し急速にその基盤を築きつつあることは周知の通りである。

本研究はコミュニケーションモデルを再検討すると共に、デザイン科学の立場から『情報構造学の基礎理論』の確立をめざすものである。最初に従来の『情報理論』の基本的な立場を明らかにし、現在の確率論を中心とする工学的な解釈とは別の視座を発見することから徐々に構造的な諸問題に論及していく。

### I 情報科学の対象

「情報に対する考えの代表的なものとして Shannon のものと Wiener のものがある。前者は重要な意味を持っているが、情報を“定義”しようとしているものではなさそうである。Shannon 自身も自分の考えが拡張解釈されることがないようにと戒めているが、世間ではこれを情報を定義するもののように拡張解釈している例が少なくない。

野口悠紀雄氏は Wiener が生物だけとか工学系だけというのではなく、全体を包括して情報を定義しようとしている精神を汲んで、Wiener の定義を次のように拡張した形で述べておられる。

“生物および自動制御系を持った機械システムが、その感覚器官を通じて外界との間で交換するすべてのものの内容をさす。”

機械には感覚器官はないが、計測とか他の装置からの入力のための Interface と解釈しておけばよい。—略— また生物というとき、Wiener の時代は感覚や神経系が中心話題であり、彼の亡くなったところに分子生物学が脚光をあびはじめたので、仕方のないことだが、今日では細胞1個にも情報と制御がある。(Messenger RNA : RNA は DNA に似た構造の核酸であるが DNA が遺伝情報を保つマスター・テープのような役目のものなのに対し、RNA はそれを転記して蛋白質の合成系に伝える伝令の役目をしている。))<sup>②</sup>

「物理畑の人は情報科学などという抵抗を感じる場合がある。それも無理のないことで、こ

れを物理学の一部門と考えることにはどうしても距離感がつきまとうのである。この距離を縮めるには、無生物的な自然でも、すなわち物理学や化学の世界でも“情報ということが考えられる”，ということをもまず明らかにする必要がある。

情報とは“システム内の相互作用の一形態”として、その系内で伝達され、現実にある作用を示し、それによりその系の“システム特性を表わす”ようなものである。」<sup>③</sup>

「情報はこのように書かれた文字によるばかりでなく、眼を通じ、耳を通じ、あるいは他の感覚を通じ、種々多様な形式で伝えられる。また情報を受けとる能力のあるものは人間ばかりでなく生体一般、さらに人間に支配される機械にまで拡張して考えられる。

情報の定義を正確に定めることは難しいが、工学的立場からわれわれは人間を含む生体または人間に支配される機械（受信者）に作用して、なんらかの影響をおよぼすものを抽象してできた一つ概念であるということができよう。」

「通信理論という言葉は情報理論とまったく同じ意味に使われることもあるが、一般に通信といえば情報のストレートな伝達を扱うので、狭義の通信理論はこのようなストレートな伝達とこれに必要ないわば消極的な情報処理とに関する理論を指すようである。

情報理論が対象とするものは機械系内、生体内およびこの両者を通じての情報の伝達と処理である。機械系における情報の伝達と処理は人間があらかじめ設計したとおりに人工的に行なわれるものであるから、これを分析することは比較的容易である。しかし、生体内の情報の伝達と処理の機構は生物発生以来何十億年かの時間をかけて自然に発展してきたもので、きわめて複雑であって、その解析はようやくその糸口がつかめたという程度のところであろう。事実人間は現存する最高の情報処理機構であって、機械的情報処理系として代表的な電子計算機も速度の点を除けば、その情報処理能力は人間に比べれば誠に微々たるものである。」<sup>④</sup>

上記の様に狭義の意味での情報理論は、通信工学を目的とした数理的概念であって、シャノンによる通信路に限定した定理である。

しかし広義の意味での情報理論とは、人間の生体系、又は人為的コミュニケーションをも含めた様々な情報伝達の手段を解明することのできる広汎な基盤を前提とした普遍的概念のことである。従ってシャノンの計量的方法論をすべての事象に適合させようとするのは無理があり、むしろそれにとってかわる応用範囲の広いフレキシブルな方法論が必要となる。筆者はここにおいて数学的解決を否定する訳ではなく、もう一度情報現象において見過ごされている局面から新たな可能性を引き出そうと試みるものである。

「情報には形態に関係した面があり、区別しうる応答に関して区別しうる形態面の多様さがあり（連続的なことは一応さしおいて考える）、それが本来ならシステム内の相関にふさわしい形で現われ、応答を生じ、それでシステムの動きを規定している（舵をとっている）はずで、それらが偶然に出現しているわけではない。本当に偶然ならノイズになるかもしれない、システムのある機能が保たれるわけがなく、生体系だったら生命の機能は保てないことになる。※ゆえに情報自体は確定的なもので、YESかNOかはっきりしないようでは情報にはならない。しかし背景にはYESとNOのアンサンブルが考えられ、その一つだと考えると確率的なものになる。だが、何でもかでも無理にも確率と結びつけようとするのは必要のないことなのである。」<sup>⑤</sup>

## Ⅱ コミュニケーションモデル

図1はシャノンの通信系のモデルである。通信機器の場合はこの様に整然とした伝達が可能であるが、現実の自然界の生物や人間対人間の社会的コミュニケーションにおいてはそのまま適用す

図版 I

図 1

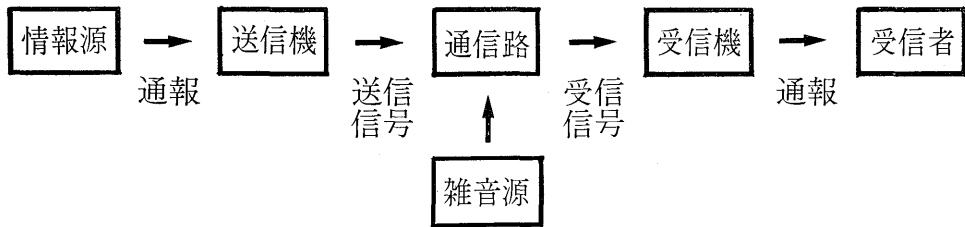


図 2

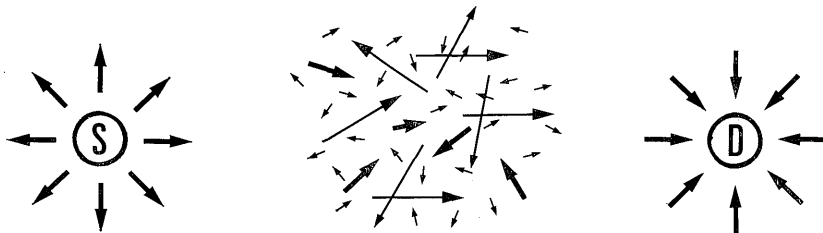


図 3

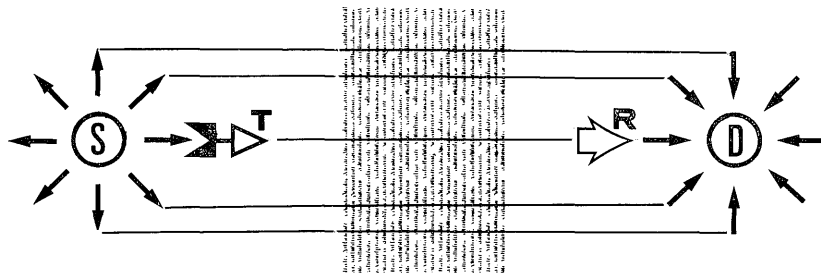


図 4

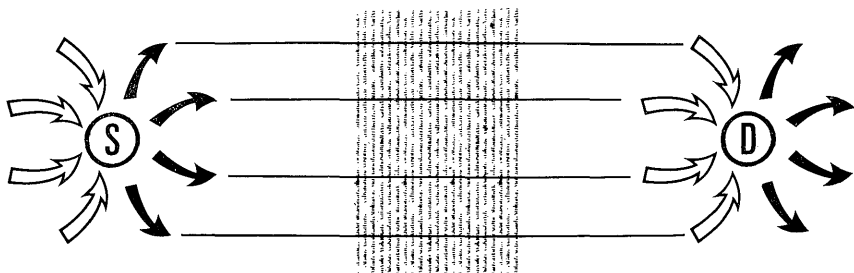


図 5



ることが困難と思われる。

一般に無限定空間においては、音波、電波、光波という通信媒体は情報源からランダムに拡散する Gauss 型確率場として考えられる。

図 2 は情報源 S (Information Source) と受信者 D (Destination) の純粹型ベクトル場、すなわち独立事象をあらわす。情報理論では＜独立試行情報源＞と言うが、この場合は、受信者への志向性と相関関係がないという意味における独立情報源のことである。

例えば太陽の光子情報の拡散性とか、雷の放電時の炸裂音等は必ずしも受信者を必要条件とはしないが、拡散的な情報源と言える良い例である。

又、図 2 の中央部は通信路を妨害する“雑音場”を示したものであるが、一般にノイズといわれるものも実は雑多な分断されたメッセージ、粉潰して方向性を失った信号、信号同志の干渉によってできた離散現象のことであり、通信路のみに作用するのではなく、情報源から受信者に至るすべてのメカニズムに作用する可能性を有するものである。すなわち、情報源に侵入するノイズ、送信機に侵入するノイズ、受信機に発生するノイズ、そして受信者に作用するノイズという様に各々のメカニズムと経路に対して不特定のノイズが想定しうるはずである。もちろん一般には通信路に侵入するノイズが大きな比重を占めることは否定できない。

図 3 はヒューマン・コミュニケーションを含めて考えた場合、同様に音波、光波の様々な要素を拡散する情報源から、そのうちの一部が受信者にコミュニケーションされた場合のモデルである。実線で結ばれていないベクトルは両者間を導通しなかった余事象を意味する。図中の T と R の記号で結ばれた経路は、人間の身体、五感による直接経路ではなく、電話、無線等による符号化の経路を意味するもので、Transmitter と Receiver を変換器として図示したものである。もちろん変換器による通信路が複数あってもかまわない訳であるが、ここではそれを象徴的に一経路のみ抽出してシンボル化した訳である。

重要なことはヒューマン・コミュニケーションにおける通信モデルでは、直接的、間接的な両側面による複合経路を念頭におくべきであり、発信した情報の表現要素のすべてが受信者側に到達するとは限らないという不確定性である。しかし心理学的にはヒューマン・コミュニケーションにおいて求極的に五感を充足させるメッセージを目的としていることを忘れてはならない。

図 4 は従来＜情報源＞と＜受信者＞との関係を固定的に捉えていたことに対する概念の転換を示したものであり、情報の源も結局は他のなんらかの情報の集積かその結果抽出されたものであって、そういう意味では情報の受容的機能も有することを説明したものである。又、受信者と言ってもヒューマン・コミュニケーションにおいては特に受信者の域に固定されるのが最終目的ではなく、情報の摂取によって結果的に新しい情報源と成り得るのである。

図 5 は人間の伝達機能を通信工学的に「変換器」として置き換えた場合の流れ図である。

### Ⅲ 普遍的諸要素

以上のコミュニケーション・プロセスは実際には二次元平面でなく、三次元空間ベクトルとして捉える方が適当であろう。従ってもし情報源と受信者が妨害のない空間で完璧にコミュニケーションされた状態というのは図 6 の様な磁場空間に相似すると考えらる。この場合、変換器に相当するのは磁石棒であり入力 of S 極と出力の N 極を持つ点も酷似していると言えよう。

更に注目すべき点は生体系や高度な情報処理機構には必ずフィードバックによる自己回帰経路、又は自己系内伝達があり、この点でも磁極間の磁力線の結合に類似する。二つの変換器を合わせて、系全体のフィードバックを暗示している点も興味深く、益々生体系とのアナロジーとし

図版 II

図 6

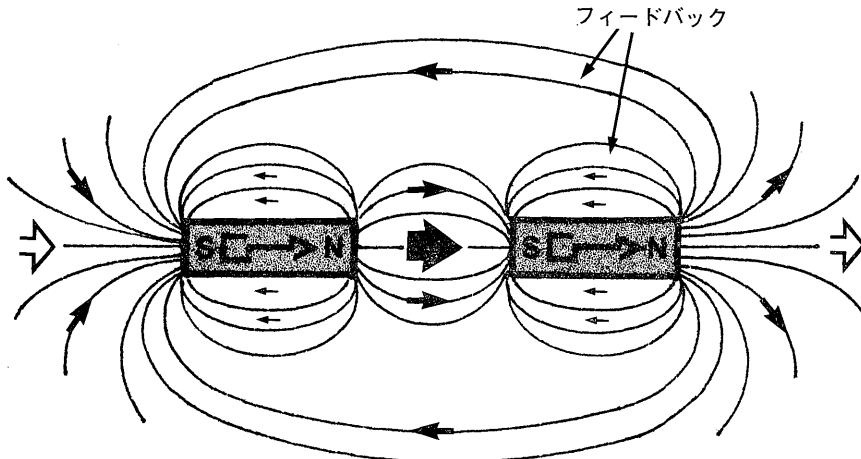
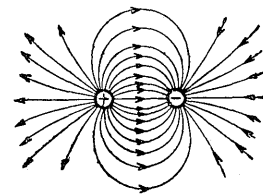
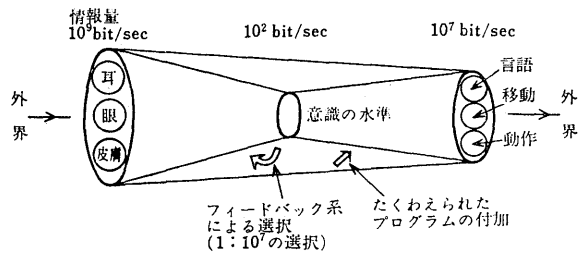


図 7



+-の電荷による電気力線

図 8

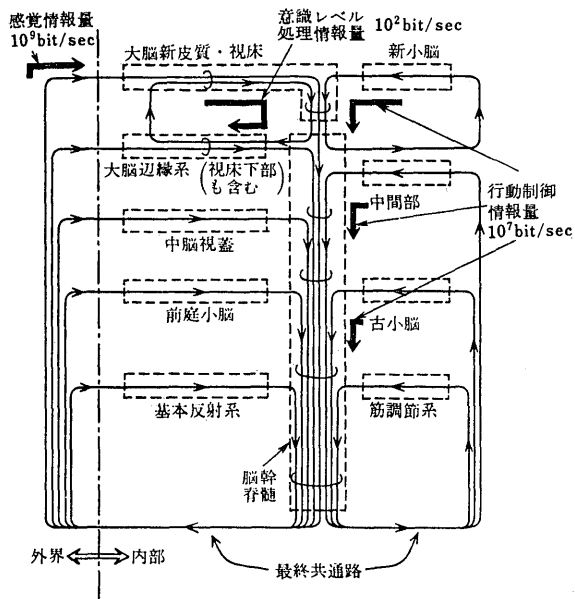
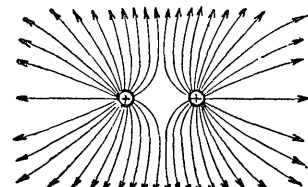
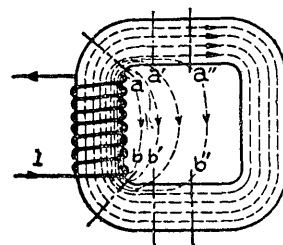


図 9



++の電荷による電気力線

図10



て重要な法則と言えそうである。

図7は生体の情報処理システムを表示した Keidel のモデルであり、フィードバック系による選択回路をとり入れている。原島氏は生体の情報システムを更に分析し図8の様な多重閉ループ階層モデルを提示している。<sup>⑥</sup>

図10は磁気回路の模型であるが、原島モデルと比較して分る様に、磁束エントロピーには同様の回帰性があり、益々電磁理論との体系的な解決を必要とされている様に思われる。図9は電気力線における構造的フローを表わしているが、筆者の提示した図2における情報源と受信者との相互エントロピーと比較してもらえばその意図がわかる。<sup>⑦</sup>

以上の考察を総合すると次の様な広義なとらえ方ができる。

- a) 一般にコミュニケーション・プロセスは、①情報の発生（情報源）、②媒体による拡散（通信経路）、③個体による受容（受信者）の三段階に分けて考えられるが、①と③は総合的なアルゴリズムの観点からは同質のメカニズムである。
- b) 従って物理的には、個体と媒体、言いかえれば変換器と経路という二つの群に要約できる。むろんメッセージはこれらの物理系によって運ばれるところの“価値対象”そのものである。
- c) 量と方向性をもつ“情報”の伝達は、その機能系においても三次元的ベクトル場として捉えられる。形態学的に言えば点と線によって変換される構造、すなわち三次元写像となる。（このことは特に視覚系の認知システムにも共通する重要な問題である。外部→内部への写像が認知。）
- d) ノイズは経路のみから侵入するとは限らず、変換器の入出力プロセスをも含めた総合的なメカニズムの中で考える必要がある。

又、一言でノイズと言っても単一の要素とは限らずメッセージ同士の干渉などによる相殺、強力な絶縁物質による遮断又は密度の低下、剛性体への衝突等による反射、波形の変形（ドップラー効果）、強力な吸収力による吸引的消滅（メッセージのブラックホール）、隔離度による媒体抵抗の増加（媒体による吸収）、変換器の特性による効率度、メッセージの保持性（周波数特性や記憶装置内の減衰特性等）。

以上の様にノイズ発生源の問題は単に通信路の問題ではなく複合的かつ構造的であると言える。

- e) 情報伝達とは、エレメントがある程度確定しつつも更に予測不可能な面が残るという点で心理学的にはゲシュタルト性を、数学的には確率論をもって理解しうるが、筆者は新たに磁場法則をその全体系に適用することを強調する。
- f) コミュニケーション・プロセスとは単に発信者と受信者との直線的関係ではなく、それを可能にしている場の問題として捉える必要があり、情報構造学の成立は必然的な経過と言える。応用的な段階としての情報環境学も同時に重視されねばならない課題と言える。

#### Ⅳ 変換器の構造

人間の認識というメカニズムは、あらゆる自然界の個体の有する変換器、すなわち感覚器官の情報処理能力の総合的評価において、最高のものである。

従って研究のめざす普遍的モデルが通信工学の中に見い出されるのではなくして、根源的には生体系の情報処理過程にあるという大前提を無視することはできない。

飲島氏は情報科学の立場から「認識とは、外界の事象からもたらされる情報にもとづいて、自らの個体内に、その事象に対応する情報モデルを作り上げる操作」と定義しているが、単的で普遍性の高い表現と言えよう。<sup>⑧</sup>

「事象を観測するもっとも素朴な方法は、その事象に直接接触することであり、触覚機能は、実際に非常に多くの生物が持ち合わせている機能である。しかしこの方法で獲得できる情報は、あまり大きなものではない。

生体がいながらにして周囲のさまざまな環境情報を得ようとすれば、上記の直接的な方法を断念して、その代わりに間接的な方法を取り入れる必要がある。脊椎動物は、すべて目と耳とを備えている。これらは視覚および聴覚のための観測機構であって、光および音がそれぞれ波動をなして情報を伝達する機能をもっていることを利用した器官である。

我々の住んでいるこの世界は、三次元のユークリッド空間をなしており、光や音はその空間の中で実在する物理現象である。したがって観測の対象や観測機構がどのようなものであるにかかわらず、こうした現象を仲介とする限りは、対象と観測像との間の相対関係は、その現象を支配している空間の性質や物理法則によって、基本的な制約をうけるものである。

生体内部に備わっている脳神経系では、観測者に盛られている情報を処理することによって、認識結果を得ているが、その結果は直接には観測者の認識であるにもかかわらず、その実質は実、外界に実在する真の対象の認識になっていなければならない。そうとすれば、認識によって得られるものの本質的な部分は、対象から観測像への情報伝達において常に不変に保たれるようなものの中にしか存在しないはずである、ということがわかる。—略—

以上に述べてきた事柄を明確化するには、具体的な例を示すのが最良であろう、本項ではそのための準備として、根源仮説を設定する際の一つの型を示すこととしよう。

例を図形にとれば、一般に図形は、二次元無限平面  $S$  上に分布する光エネルギー密度関数  $f(r)$  であらわすことができる。ここで  $r$  は  $S$  上の位置ベクトルである。

三次元ユークリッド空間の中で、光はこのような図形情報を他の平面上に射影する機能を果たすことができる。このさい光は直進性をもっているから、この射影は、図影  $f(r)$  から  $f'(r)$  への幾何光学的変換となる。今これを

$$f'(r) = \Phi f(r) \quad (1)$$

なる記号であらわすことにしよう。ここで  $\Phi$  は変換の作用素をあらわしている。

さて元の図形  $f(r)$  は同じでも、射影される平面はこの三次元空間内に自由に選ぶことができるから、それに応じて  $\Phi$  の形は変わり、したがって得られる図影  $f'(r)$  も変化することになる。このさい  $\Phi$  はまったく自由な形が選ばれるのではなく、パラメータを含んだある型に限定される。そこで一般的にこのパラメータを  $\alpha$  であらわし変換作用素を  $\Phi(\alpha)$  と明示することにしよう。

ところで射影されて得たものはまた図形であるから、それをさらに他の平面に射影し直すことができる。この結果は、元の図形を適当に選ばれたパラメータによって直接射影されたものと一致しなければならないはずである。このことは

$$\Phi(\alpha')\Phi(\alpha) = \Phi(\alpha'') \quad (2)$$

なる記号で表現することができる。

実際の幾何光学的図形変換の作用素は、4種類のパラメータ  $A, K, a, \mathcal{A}$  を含み、その具体的な形式は  $\Phi(A, K, a, \mathcal{A})f(r) = Af(\mathcal{A}r + a) + K$  (3)

で与えられる。ここで  $K$  は紙面の明るさ変化、 $A$  は図形濃淡の強度変化、 $a$  は図形の平行移動量、 $\mathcal{A}$  はテンソル量で図形の伸縮・回転斜傾ひずみを、それぞれあらわしている。」

飯島氏は更にレンズを用いた図形のボケを線形積分変換によって説明している。

光学的変換の構造は、今までに論じて来た様々な変換器の機能の中で最も象徴的で重要なコミュニケーション・コアに他ならない。

飯島氏の説明はこのコミュニケーション・コアを単的に説明しており、根源仮説としては完璧に近いと思われる。ただし、現実の空間では驚くべきことに二次元図形  $f(r)$  だけでなく、三次元多様体  $M^3$  を知覚像  $M'^3$  に変換しており

$$M'^3 = \phi M^3$$

ということになる。更に時間的推移要素をパラメーターとして加える必要が出てくるし、スペクトルのパラメータも  $R$ ,  $G$ ,  $B$  の関数として表わさなければならない。

しかし重要なことはこのコミュニケーション・コア（筆者は根源モデルと名づけたい。）への確実な指標をうちたてたことであり、視覚情報処理の構造解析が重要な課題となることを明示するものである。

図11は様々な視座から視覚系のモデルを単的に説明したものである。<sup>⑨</sup>

## V 情報構造とゲシュタルト

視覚系のコミュニケーション・モデルが、生体系の変換器の中でも典型的な構造を有していることが推論された訳だが、ここに視覚系のモデルがいかに普遍モデルと関係あるかという点についてゲシュタルト論的言及しているノバート・ウィナーの説明を上げよう。

「一つの対象物を透視画法的に、できるだけいろいろの方法で変換してみると、これらの変換は“群”をつくっている。この変換群には次のようないくつかの部分群がある。まず、無限遠点を動かさないような変換だけからなるアフィン群がある。また一つの点、軸の方向、およびすべての方向の尺度の一樣性が保存される、一点のまわりの一樣な拡大変換（dilatation）がある。また長さを変えない変換の群、一つの点のまわりの2次元または3次元の回転群、すべての平行移動の群等々の部分群がある。これらの部分群はいずれも連続群である。すなわちこれらの部分群に属する操作は、適当な空間内で連続的に変化するいくつかのパラメータの値によって決定される。これらの部分群は従って  $n$  次元空間内の多次元の図形をなし、この様な空間内の領域をなす変換の部分集合を含むことになる。

さてふつうの2次元平面内の領域が、テレビジョン技術者のいわゆる走査という方法でおおうことができ、それによってこの領域内にほとんど一樣に分布した標本点の集合で全体をあらわされるように、一つの群空間内のすべての領域が、その群空間全体をも含めて、群走査という一つの過程であらわされるのである。このような過程は3次元空間に限定されるものではなく、任意の次元の空間点の網状配置が1次元の系列で走査され、しかもそれらの点の配置はある適当に定義された意味で、この領域内の任意の点の近傍にあるよう分布させることができる。したがってそれは、任意の点にいくらかでも近い点を含むことになる。もしこれらの“点”あるいはパラメータの集合によって実際に適当な変換を表わすならば、これらの変換をある与えられた図形に施して得られる結果は、所望の領域内に存在する変換演算子をその図形に施したものにいくらかでも近いものとなる。もしわれわれの走査が十分細かく、また変換を受けた領域がその群によって変換される領域の最大の次元を持つならば、実際の走査に含まれる変換から生ずる領域を、もとの領域の‘任意’の変換によるものと、その面積の広さに対する誤差が思いのままに小さくなるように重なり合わせることができることになる。

次に固定された比較領域と、それと比較されるべき領域から出発することにしよう。もし変換群の走査の各段階で、比較されるべき領域を、走査を受けた一つの変換によって写像したものが



図版 III

図11

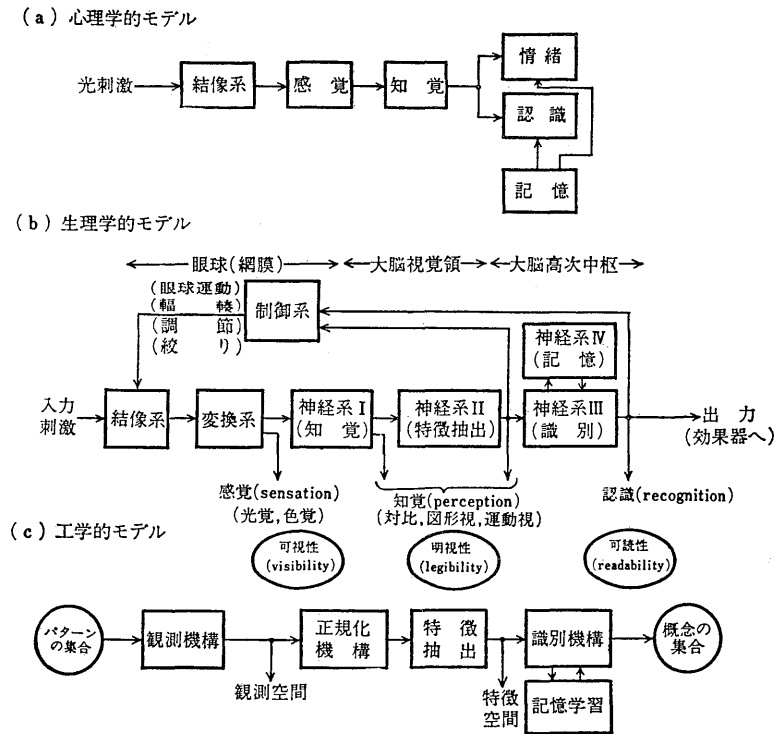
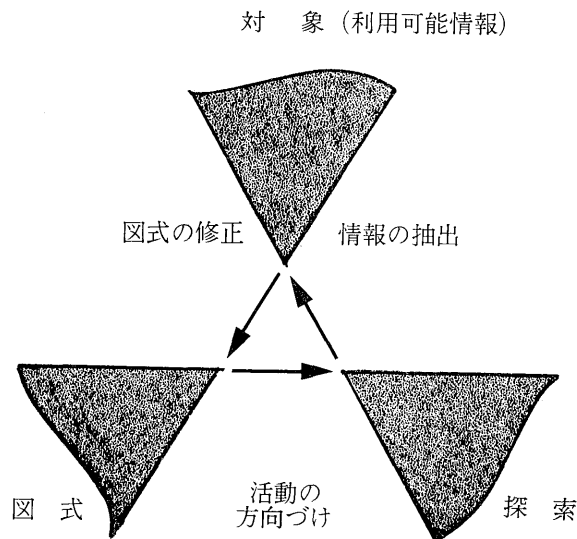


図12



与えられた許容限度内で固定した領域とよく一致するならば、その二つの領域はよく似ているという。もしこのようなことが走査過程のどの段階にも生じなかったならば、それらは似ていないという。この過程は完全に機械化に適しており、ある図形の形を、その大きさ、方向、あるいは走査されるべき群領域に含まれるどのような変換にも関係なく識別させる方法として役立つものである。もしこの領域が群の全体でないならば、領域Aは領域Bのように見え、領域Bは領域Cのように見えるが、領域Aは領域Cのようには見えないということがあるかもしれない。このことは実際に確かに起るのである。少くとも、高度の過程を含まない直接の印象に関する限り、ある一つの図形はそれを反転したものと特に似ているように見えないかもしれない。しかしこの反転という操作の各段階で、かなりの範囲にわたる隣接した部分が同じものに見えるであろう。このようにして形成された普遍的“観念”は完全には分離せず、たがいにとけ合っている。

群の変換からは、群走査を使うもっと手のこんだ方法をひき出すことができる。われわれがここで考察する群は、“群測度”をもつものである。群測度というのは、変換群そのものには関係するが、群のある特定な変換を前もしくは後につけてその群の変換全部を変えたときにも変化しないような、確率密度のことである。群を走査する場合、相当な任意性をもった領域の走査密度一すなわち走査元素がその群を完全に走査するときにその領域内で費す時間の長さ一を、その群測度にちょうど比例するようにすることができる。このように一様な走査を行うときこの群によって変換された元素Sに依存する一つの量があるとする。そしてもしこの元素の集合が群の変換全部によって変換されるならば、Sに依存する量を $Q\{S\}$ であらわし、また群の変換Tによる集合Sの変換をTSであらわすことにしよう。そうすれば、 $Q\{TS\}$ は、SをTSでおきかえたときに $Q\{S\}$ に代わる量の値となる。もし変換Tの群の群測度についてこの量を平均または積分すると、

$$\alpha) \quad \int Q\{TS\} dT$$

という形に書ける量が得られる。ただし積分は群測度について行う。 $\alpha)$ なる量は、群の変換によって互に入れ換えうるすべての集合S、すなわち或る意味で同一の形態もしくはゲシュタルトをもつすべての集合に対して不変である。」<sup>⑧</sup>

ウィナーは更に喪失した感覚を他の感覚で補う問題を取り上げ、変換器総体のシステムがフィードバックをとともなう視覚的なゲシュタルト決定の機能に対応するものであると言っている。従ってここにコミュニケーション・コアとしての視覚系モデルによる変換システムの分析がゲシュタルト過程を無視しては成されず、総括的にはサイバネティックス論によって変換系の構造が解明していくと思われる。

この様な知覚システムを工程順に分析したのが図12に見られるU・ナイサーの知覚循環論である。

「図中の図式(schema)と名づけられ部分は高度に構造化されたものであることはもちろん明らかである。しかし、この構造は連続的に相互に作用している過程を支えるものであって、末梢から中枢(心)へと単純に流れていくようなものと考えてはならない。そのひとつひとつの過程は、入力から出力へへつながる非連続的な段階としてよりむしろ、本来、環境と相互交渉を持つ埋め込まれた図式と考えた方がよいように思う。図式がすべての知覚活動において重要な役割を果たすといっても、それはパーセプトを指しているのでもないし、また知覚者の頭の中のどこかに生じるものでもない。知覚するという行為はパーセプトに達して、そこで終わってしまうというたぐいのものでは決してない。図式はまさに知覚者を環境と関係づける常に進行している活動の一位相に過ぎない。知覚という用語は本来、この循環全体に対して用いられるのであって、循環

から切り離されたどのような部分に対してもあてはめられない。」<sup>⑩</sup>

この循環システムは当然前述のコミュニケーション・コアとしての視覚モデルについて言っているのであって図12はそれを工程として解釈している。しかし情報構造と言う時かならずしも視覚モデルや変換器の機能構造を指して言うのではない。すなわち伝達されるメッセージそのものも「情報構造」をもつのである。図13は正にその良い例である。<sup>⑪</sup>

## 結 論

以上の考察より、コミュニケーション・システムにおいては、そのシステム自体が情報構造を有し、一定のコミュニケーション

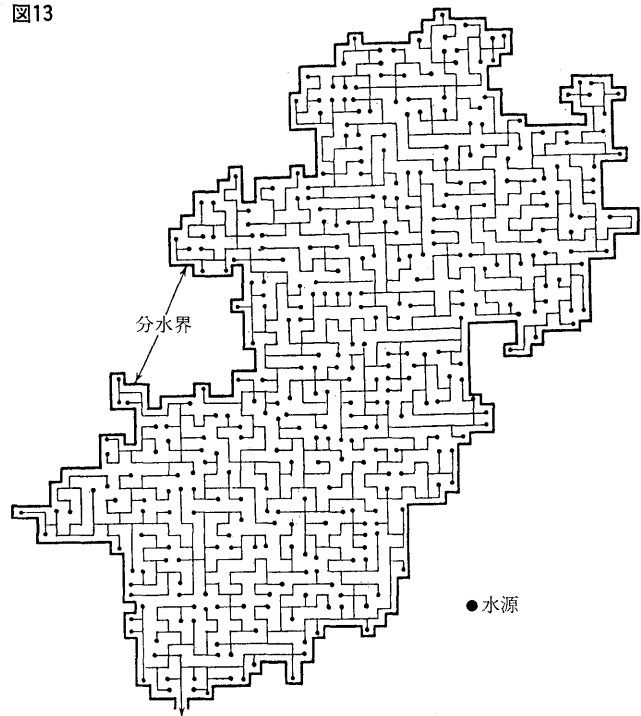
ンモデルによって代表される普遍構造の存在することが分った。筆者は様々な角度からこの“普遍モデル”の求明を行っているが、今回シャノン・モデルの再検討によって、新たな情報理論の視座を得た様に思われる。

今後これらの情報構造の問題が、トポロジーや創造性の問題と密接に関連して求明されていくことは自明の様に思われる。又、本研究では及ばなかったが、今後メッセージそのものも「情報構造学」の対象として分析していく必要のあることが結論された。

## 文 献

- ① C.E. Shannon, A Mathematical Theory of Communication, Bell System, Tech. Journ. 27 (1948), M. I. T.
- ② 杉田元宜「情報科学とは何か」実教出版, 1976, 7—8頁
- ③ 杉田元宜, 岡山誠司「情報科学」朝倉書店, 1970, 1頁
- ④ 大泉充郎, 本多波雄, 野口正一「情報理論」オーム社, 1962, 1—4頁
- ⑤ 同上③, 11頁
- ⑥ 宇都宮敏男編, 原島博「生体の制御情報システム」朝倉書店, 1978, 84—87頁 図7, W. D. Keidel, Tuning between central auditory pathways and the ear, IEEE Trans. on Military Electronics, 7, p. 131, 1963
- ⑦ 東京電機大学編「電磁理論」東京電機大学出版局, 1973, 187, 145頁
- ⑧ 上記⑥, 101頁—103頁, 飯島泰蔵
- ⑨ 田崎京二, 大山正, 樋渡潤二編「視覚情報処理」朝倉書店, 1979, 395頁

図13



(Leopld・Langbein (1962) より)

- ⑩ Norbert Wiener, 池原止戈夫他訳「サイバネティックス」岩波書店, 1979, 164—167頁
- ⑪ Ulric Neisser, 古崎敬, 村瀬旻共訳「認知の構図」サイエンス社, 1979, 21—23頁
- ⑫ Leopold, L. B. and W. B. Langbein, The Concept of Entropy in Landscape. Evolution, U. S. Geol. Sur. Prof. Paper, 500—A, pp. 1—20. 1962.